



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dip. AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI RISORSE NATURALI E
AMBIENTE

Corso di laurea magistrale in Scienze e Tecnologie Animali

Mangimi alternativi nei ruminanti: l'alga spirulina
aggiunta nella dieta bovina

Relatore

Prof. Sturaro Enrico

Correlatore

Prof. Tagliapietra Franco

Laureanda

Sasha Poncina

Matricola n.

1243378

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale al mio compagno Mirco e a tutte le persone che mi sono state vicine durante questo percorso: è grazie al loro sostegno se oggi sono riuscita a raggiungere questo traguardo. Vorrei ringraziare anche me stessa per essermi sempre impegnata al massimo dividendomi tra casa, lavoro e studio.

Inoltre, volevo ringraziare il prof. Enrico Sturaro che oltre avermi dato sempre nuove idee per la redazione di questo lavoro, mi ha trasmesso la passione per ciò che spiega e spero di essere riuscita a trasmettere questo nella stesura della tesi.

Ringrazio anche il prof. Franco Tagliapietra per avermi dato occasione attraverso varie osservazioni di mettermi in gioco e di imparare sempre cose nuove.

*“Se vuoi aver successo,
il tuo desiderio di successo deve essere più grande
della tua paura di fallire”*

Bill Cosby

Indice

| | |
|--|--------|
| Riassunto | pag.5 |
| Summary | pag.6 |
| Introduzione | pag.7 |
| Obbiettivi | pag.11 |
| Mangimi alternativi per ruminanti: valore nutritivo, qualità del prodotto e aspetti ambientali | pag.12 |
| Le alghe | pag.15 |
| L'alga spirulina | pag.16 |
| Fase di produzione | pag.19 |
| Metodo di produzione | pag.20 |
| La raccolta | pag.24 |
| Accumulo di metalli pesanti nella spirulina | pag.25 |
| Bioaccumulo di cadmio nella spirulina | pag.26 |
| Normative | pag.29 |
| Influenza dell'alga spirulina nella produzione di metano | pag.30 |
| Uso dell'alga spirulina nell'alimentazione bovina | pag.32 |
| Conclusione | pag.43 |
| Bibliografia e sitografia | pag.45 |

RIASSUNTO

Nei prossimi anni si avrà un aumento della domanda globale di prodotti di origine animale, questo dato dall'incremento della popolazione e dal cambiamento degli stili di vita nei Paesi emergenti.

La sostenibilità ambientale degli allevamenti è una tematica ampia e di estrema attualità, anche alla luce dell'evoluzione delle politiche comunitarie (Green Deal, Farm to fork strategy)

La tesi si focalizza sull'utilizzo dei mangimi alternativi, nello specifico dell'alga spirulina come integratore nella dieta dei ruminanti. Oltre ad esaminare diversi articoli riguardanti l'aggiunta di questo organismo unicellulare alla dieta, per capire se influenzi o meno le prestazioni degli animali da reddito, si è cercato anche di valutare l'effetto sull'impatto ambientale e le prospettive di utilizzo.

L'alga spirulina è una proteina unicellulare, nello specifico una microalga. Questa può utilizzare una grande varietà di materie prime e rifiuti come fonti di carbonio, nutrienti ed energia per la propria crescita e per la produzione di biomassa.

Le microalghe sono il fondamento della catena alimentare poiché producono circa il 50% dell'ossigeno del pianeta Terra e la loro presenza influenza in modo positivo la fertilità dei terreni.

Oltre a quanto è stato riportato sopra, è stata commentata anche la normativa vigente che regola la produzione di mangimi alternativi.

In base alla composizione chimica, la Spirulina rappresenta una valida alternativa sia economicamente che ecologicamente sostenibile. Possiede numerose sostanze biologicamente attive, ad esempio velocizza il processo digestivo favorendo un miglior apporto di nutrienti, per cui ci sono prospettive reali di utilizzo nella dieta degli animali da reddito.

SUMMARY

In the coming years there will be an increase in the global demand for products of animal origin, due to the increase in the population and the change in lifestyles in emerging countries. The environmental sustainability of farms is a broad and extremely topical issue, also in light of the evolution of EU policies (Green Deal, Farm to fork strategy)

The thesis focuses on the use of alternative feeds, specifically spirulina algae as a supplement in the diet of ruminants. In addition to examining various articles regarding the addition of this single-celled organism to the diet, to understand whether or not it affects the performance of farm animals, we also tried to evaluate the effect on the environmental impact and the prospects for use.

Spirulina algae is a unicellular protein, specifically a microalgae. This can use a large variety of raw materials and wastes as sources of carbon, nutrients and energy for its own growth and biomass production.

Microalgae are the foundation of the food chain since they produce about 50% of the oxygen of the planet Earth and their presence positively influences the fertility of the land.

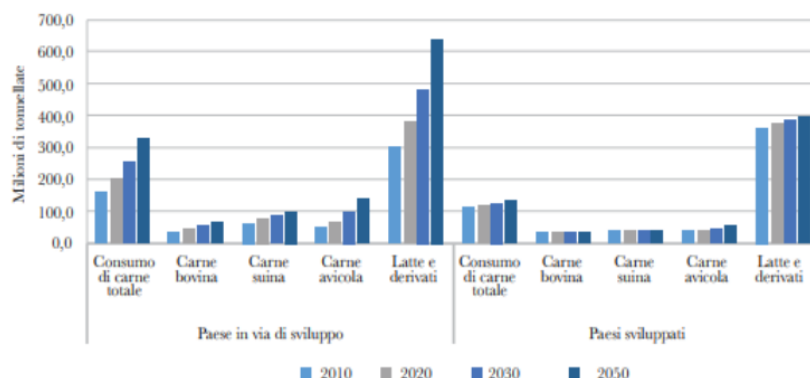
In addition to what has been reported above, the current legislation governing the production of alternative feeds has also been commented on.

Based on the chemical composition, Spirulina represents a valid alternative both economically and ecologically sustainable. It has numerous biologically active substances, for example it speeds up the digestive process by promoting a better supply of nutrients, so there are real prospects for use in the diet of farm animals.

1-INTRODUZIONE

I prodotti di origine animale, che comprendono carne, pesce, uova, latte e derivati forniscono proteine ad elevato valore biologico, caratterizzate dalla presenza di amminoacidi essenziali indispensabili per l'organismo umano. Secondo studi della FAO nel 2050 il mondo conterà 9,6 miliardi di abitanti di cui il 70% vivrà in città con un reddito medio che sarà circa il doppio rispetto quello attuale, di conseguenza, la domanda globale di prodotti di origine animale sarà in continua crescita ed avrà un ruolo fondamentale nella sicurezza alimentare e nella nutrizione dell'intero globo.

FIGURA 1. PREVISIONE DEL CONSUMO DI PRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE (MODIFICATO DA REPORT FAO, 2011)



La crescita della domanda globale di proteine animali metterà in crisi le risorse precarie del nostro pianeta, per cui l'obiettivo degli ultimi anni guardando verso il futuro è quello di produrre in modo sostenibile e cercando di utilizzare risorse alternative per l'alimentazione animale. Il settore zootecnico cresce ad un ritmo molto più veloce rispetto agli altri settori rurali, soprattutto per quanto riguarda gli allevamenti intensivi, ed è responsabile delle emissioni da uso delle terre e da cambiamento nell'uso delle terre, incide nell'aumento di CO2 e produce una percentuale preoccupante di gas serra. La zootecnia è responsabile del 37% del metano prodotto (sistema digestivo ruminanti), e del 64% di ammoniaca che contribuisce alle piogge acide.

INQUINAMENTO DELL'ARIA

Il metano è il maggior idrocarburo prodotto dal ruminante dei bovini. Il metano è un gas serra, che, come quantità prodotta, è dietro solo all'anidride carbonica, ma che allo stesso tempo ha un effetto di 23 volte più potente rispetto alla CO₂.

Il metano che raggiunge l'atmosfera il 20-30% è di origine fossile mentre il 70-80% deriva dalle fermentazioni enteriche. Gli allevamenti sono responsabili del 15-20% del totale delle emissioni antropogeniche e i bovini sono responsabili del 73% del totale delle emissioni tra tutti gli allevamenti.

Per ridurre la produzione di metano del ruminante, bisogna cercare di manipolare l'ecosistema ruminale andando ad agire sulla dieta, sugli alimenti che la compongono e sugli additivi.

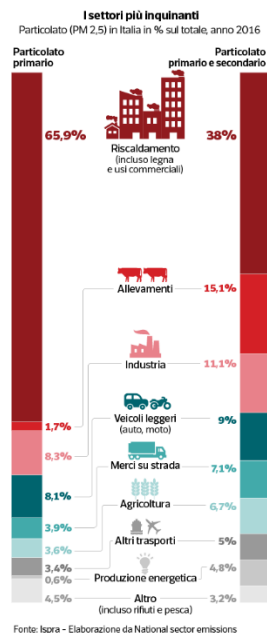


Figura 2. Settori inquinanti nel mondo

INQUINAMENTO DEL SUOLO

Per quanto riguarda invece l'impatto ambientale zootecnico che si ha nel suolo bisogna sapere che l'area totale occupata dai pascoli e dalle colture destinate alla produzione di alimenti per il suddetto comparto è stimabile all'incirca al 70% per quanto riguarda la superficie agricola mondiale e al 30% per quanto riguarda l'intera superficie terrestre non ricoperta da ghiacciai.

Questo utilizzo dei suoli coinvolge cambiamenti fisici, chimici e biologici, I processi di degrado del suolo sono: la desertificazione, l'erosione, la diminuzione di sostanza organica, il

compattamento e la salinizzazione tutti elementi che posso portare la perdita delle sue funzioni principali.

Questi cambiamenti sono la causa di errate pratiche agricole (concimazione non equilibrata, monocoltura...), di pascolamento non corretto ed infine alla deforestazione.

Per quanto riguarda l'erosione dei suoli, questa è dovuta principalmente per il calpestio e il pascolamento, questo fenomeno però si ripercuote anche a livello delle acque portando sedimenti superficiali.

INQUINAMENTO DELL'ACQUA

Il rapporto che c'è tra zootecnia e acqua è sia di tipo qualitativo che quantitativo. I reflui zootecnici utilizzati come fertilizzanti e le caratteristiche del suolo danno origine a fenomeni di lisciviazione e scorrimento. L'azoto presente nel letame e nei liquami e i restanti fertilizzanti utilizzati in agricoltura danno origine al fenomeno dell'eutrofizzazione.

La perdita dei nutrienti non è solo data dalla quantità utilizzata, ma anche dalla forma di utilizzo, dalle condizioni pedoclimatiche, dalle modalità e dalla tempistica di distribuzione ed infine come sopracitato anche dalle caratteristiche del terreno.

Nelle deiezioni animali l'azoto si trova sia in forma organica che inorganica, il primo si muove poco nel terreno, mentre l'ultimo, soprattutto lo ione ammonio e i nitrati sono soliti a volatilizzazione e lisciviazione.

BIODIVERSITÀ

Negli ultimi anni si è assistito ad una diminuzione e anche alla scomparsa di alcune specie e relativi habitat, ecosistemi e patrimoni genetici. I fattori che influenzano in maniera negativa la biodiversità sono principalmente il cambiamento dell'uso dei suoli i cambiamenti climatici, l'introduzione di specie invasive e l'inquinamento.

Il mantenimento della biodiversità è fondamentale per la vita e il benessere dell'uomo e anche per quanto riguarda la sostenibilità a lungo termine di agricoltura e zootecnia.

La biodiversità riguarda sia le specie selvatiche, che quelle domestiche ma può riguardare anche le specie vegetali.

L'allevamento zootecnico entra in contrasto con la biodiversità in quanto, in primo luogo, c'è la competizione per le superfici tra animali domestici e fauna selvatica e in secondo luogo troviamo il cambiamento di destinazione dei suoli. Inoltre, si sono avute perdite di risorse genetiche dovute all'utilizzo di razze cosmopolite a discapito di quelle autoctone.

ALIMENTAZIONE

Negli ultimi anni è crescente l'interesse nei riguardi di alimenti che rispondono alla regola definita delle 4R, ovvero: ridurre, riutilizzare, rivalorizzare e ricerca. Con ridurre si intende il limitare di competizione tra gli alimenti destinati all'uomo e quelli destinati agli animali iniziando ad utilizzare nuove fonti energetiche e proteiche, con riutilizzare invece si intende la diminuzione e il riuso degli sprechi alimentari, con il termine rivalorizzare si cercano di trasformare i coprodotti agroalimentari e industriali in alimenti funzionali ed infine con ricerca si tende a determinare le caratteristiche degli alimenti per poterli poi utilizzare in modo efficiente.

Quindi è fondamentale la ricerca di nuove fonti alimentari, si cercano alimenti che abbiano un alto valore nutritivo e una buona efficienza di conversione, devono essere in grado di ottimizzare la qualità dei prodotti animali e utilizzare acqua e terra in modo efficiente. L'approvvigionamento di proteine è fondamentale per il settore zootecnico per ottenere prodotti di origine animale di alta qualità. L'industria mangimistica in Italia attualmente dipende dalle importazioni di fonti proteiche, in maggior quantità farina di soia, che ha maggiori proprietà per gli animali da reddito. L'Unione Europea ha deciso un "Piano europeo delle proteine" con l'obiettivo di aumentare le proprietà vegetali e si stanno esplorando anche piani per ottenere farine che derivano di insetti allevati su biomasse, che sono un'ottima fonte di proteine ad alto valore biologico per gli animali. Interessanti sono anche i sottoprodotti che derivano dalla produzione dei biocarburanti e prodotti destinati al consumo umano come i distillati, pannelli e farine di estrazione, oppure i sottoprodotti ottenuti dalle lavorazioni industriali, come quelli derivanti dall'estrazione della gomma della pianta di guar. Un altro alimento che ha del potenziale è l'alga spirulina. Sono state condotte prove sperimentali su polli, suini, conigli e ruminanti. L'alga spirulina entra nella normativa che riguarda il novel food che raccoglie tutti quegli alimenti non consumati in misura significativa nell'Unione Europea prima del 15 maggio 1997, data di entrata in vigore del regolamento.

2-OBBIETTIVI

Il contesto mondiale riguardante la filiera zootecnica, è interessato da cambiamenti che porteranno effetti nel breve e nel lungo termine. Gli obiettivi prefissati da questo elaborato sono analizzare i mangimi alternativi, in particolar modo l'alga spirulina, per capire quale sia il miglior metodo di utilizzo. Il concetto di sostenibilità degli allevamenti di interesse zootecnico assume una grande rilevanza sia dal punto di vista economico, sociale ma soprattutto sul piano ambientale. Tra i prodotti utilizzati come mangimi l'84% non è edibile per l'uomo. È fondamentale, guardando il futuro, cercare di ottimizzare al più possibile le risorse, in quanto secondo le previsioni della FAO nel 2050 ci saranno 9,6 miliardi di abitanti per cui bisognerà provvedere al mantenimento di tutta la popolazione. L'alga spirulina è uno degli alimenti alternativi che si è pensato di utilizzare in quanto molto ricco di proteine, di cui però non si conoscono ancora bene i benefici e ciò che può apportare alla dieta; per cui in questo elaborato vengono analizzati diversi studi riguardanti l'aggiunta di questo organismo unicellulare in sostituzione ad alcuni alimenti nella razione dei bovini.

Certo è, che come riportato ha un elevato costo di produzione, in quanto per essere utilizzato come mangime si ha bisogno di un elevato numero di alghe e allo stesso tempo di un processo di lavorazione ad elevato tasso economico. Anche se dal punto di vista di utilizzo delle terre, sarebbe un'ottima soluzione in quanto cresce e si sviluppa in tutti gli ambienti acquatici, di conseguenza non si andrebbero ad utilizzare terreni destinati alle colture per l'alimentazione umana.

Tuttavia gli articoli disponibili riguardanti questo argomento sono pochi.

3-MANGIMI ALTERNATIVI PER RUMINANTI: VALORE NUTRITIVO, QUALITÀ DEL PRODOTTO E ASPETTI AMBIENTALI

Nell'ambito delle ricerche finalizzate a migliorare la sostenibilità dei sistemi zootecnici, grande attenzione viene data alla dieta somministrata agli animali e alle fonti alimentari alternative.

Oltre ai sottoprodotti che già conosciamo derivati dalla produzione di zucchero, amido, alcool e olio si sta cercando di studiare un modo per utilizzare i residui di frutta e verdura, anche se la loro conservazione è molto più impegnativa rispetto ai precedenti citati. Secondo Shader et al. (2015) nutrire gli animali solamente con sottoprodotti dell'industria alimentare e portandoli al pascolo, combinati con la modificazione della dieta umana, con conseguente diminuzione del consumo di prodotti di origine animale, potrebbe portare ad un'elevata diminuzione dell'inquinamento. Ad esempio, ha stimato che le emissioni di gas serra, il carico di azoto e fosforo e l'uso di suolo e acqua potrebbero diminuire dal 18 al 46%.

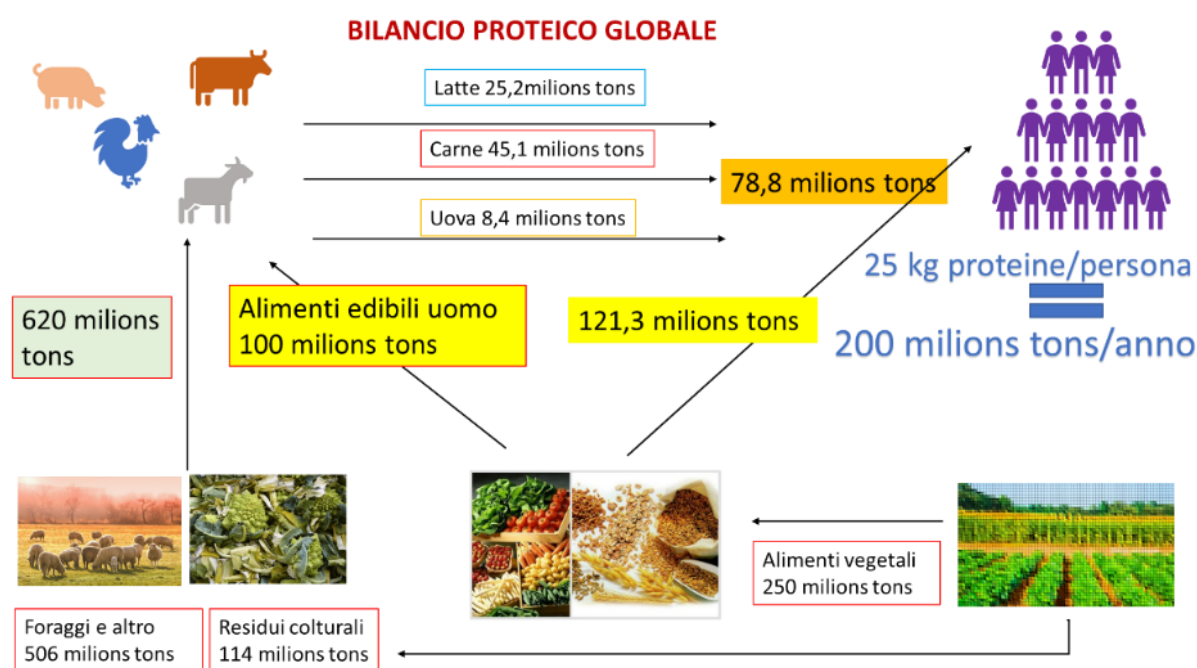


Figura 3. Bilancio proteico Globale (fonte ASSALZOO)

Un adeguato studio della dieta con integrazioni e scelte alimentari per modificare la razione dei ruminanti, hanno un buon potenziale sia per migliorare la digeribilità totale che per aumentare le prestazioni e allo stesso tempo diminuire le emissioni di metano. L'agricoltura

intensiva è una fonte significativa di azoto, infatti circa il 50% di quello apportato alle colture come fertilizzante, non è utilizzato dalle piante, ma viene perso nell'ambiente come ammoniaca, nitrato e protossido di azoto. I legumi azotofissatori possono essere una valida alternativa ecologica e sostenibile per la dieta dei ruminanti, andando così a ridurre le perdite di azoto e andando ad ottimizzare l'azoto dietetico.

Per l'utilizzazione di mangimi alternativi, è importante conoscere il valore dei mangimi nuovi, ma anche le risposte della produzione animale e i costi dei nuovi mangimi rispetto a quelli convenzionali. Anche l'impronta ambientale riveste un ruolo fondamentale nella scelta dell'utilizzazione di nuovi prodotti.

Il legno è il carboidrato più abbondante al mondo, ma non trattato è difficilmente utilizzabile dai ruminanti a causa della presenza di legami tra cellulosa e lignina, anche se la sua utilizzabilità può essere migliorata con vari metodi di lavorazione. A livello globale, i vantaggi delle proteine unicellulari (batteri, lieviti, funghi, microalghe) e della biomassa acquatica (alghe, lenticchie d'acqua) rispetto alle colture terrestri sono l'indipendenza della produzione dei seminativi e dalle condizioni atmosferiche. La composizione chimica di questi nuovi mangimi varia a seconda della specie e delle condizioni di crescita. Ad esempio, le microalghe hanno un buon potenziale sia dal punto di vista lipidico che come integratori proteici nei ruminanti. Le alghe producono sostanze bioattive che hanno il potenziale di ridurre le emissioni di metano.

I vantaggi della produzione delle alghe sono l'indipendenza della produzione di sementi, la non dipendenza dalle condizioni climatiche, la produzione elevata e la raccolta continua. Tuttavia, la coltivazione, la raccolta, la conservazione (in particolar modo l'essiccazione) e l'applicazione di queste nuove tipologie di mangimi su larga scala, necessitano di ulteriori studi per abbassare i costi di produzione e renderli competitivi con i prodotti già presenti nel mercato. A lungo termine le microalghe hanno il maggior potenziale per diventare le principali fonti di vitamine e proteine in tutto il mondo.

| ALIMENTO | NECESSITÀ D'ACQUA | ASPETTI AMBIENTALI |
|----------------------------|--------------------------|--|
| Colza | Alto | Bisogno di azoto per ottenere rese elevate |
| Soia | Alto | Il day length e le basse temperature limitano il potenziale di resa e di espansione |
| Grano | Alto | Bisogno di azoto per ottenere rese elevate |
| Lupini, piselli, fagioli | Alto | L'elevata degradabilità ruminale delle proteine e il profilo amminoacidico sbilanciato delle stesse possono aumentare la produzione di azoto |
| Foraggi di leguminose | Alto | A causa del basso contenuto di fibre lunghe, possono limitare le emissioni di metano |
| Emicellulosa | Alto | Può migliorare l'efficienza di uso di N e P se la dieta eccede in questi nutrienti |
| Foglie di alberi tropicali | Alto | In certe specie mitigano la produzione di metano |
| Microalghe | Basso | In base alle componenti che possiedono c'è una diminuzione della produzione di metano. |
| Alghe | Nessuno | I nutrienti vengono assorbiti dall'ambiente marino, una raccolta anticipata può compromettere l'equilibrio costiero |
| Lenticchie d'acqua | Basso | Recuperano i nutrienti dalle acque reflue |

Tabella 1. Potenziali effetti sull'ambiente di diversi tipi di alimenti

4-LE ALGHE

Le alghe sono un gruppo eterogeneo di piante con una tassonomia complessa e spesso controversa. Esistono due tipi principali di alghe: macroalghe (piante fotosintetiche acquatiche di grandi dimensioni), che occupano la zona litorale e microalghe (alghe di piccole dimensioni) che si trovano negli habitat bentonici e litorali, nonché in tutte le acque oceaniche come fitoplancton. Alcune specie vivono attaccate a rocce o altro materiale di supporto, tra queste ve ne sono anche tipologie in grado di rimanere attaccate al fondo dell'oceano attraverso strutture simili a radici, mentre altre specie galleggiano sulla superficie dell'acqua e formano colonie uni o multicellulari. Le alghe risiedono generalmente nella zona litorale e possono presentare molte forme, dimensioni, colori e composizione diverse: comprendono le alghe brune, le alghe rosse e le alghe verdi.



Figura 4. Diversi tipi di alghe

Per quanto riguarda i principali tipi di polisaccaridi contenuti nelle alghe marine, si distinguono: i fucani delle alghe brune, l'agar ed i carragenani delle alghe rosse e gli ulvani delle alghe verdi. Ciascuno di questi polisaccaridi presenta caratteristiche molecolari specifiche che ne determinano le proprietà biologiche e la reattività. La loro composizione varia molto, a seconda della specie, del tempo di raccolta e dell'habitat, inoltre risentono delle condizioni esterne, come la temperatura dell'acqua, i nutrienti contenuti in essa e l'intensità della luce. Contengono una notevole quantità di acqua e la maggior parte degli amminoacidi essenziali sono carenti, tuttavia sono ricche di zolfo. Le alghe concentrano i minerali che si trovano solitamente nell'acqua di mare e contengono 10-20 volte i minerali contenuti nelle piante terrestri. Hanno piccole quantità di lipidi (1-5%), ma la maggior parte di questi sono acidi grassi polinsaturi n-3 e n-6, infine tendono ad accumulare metalli pesanti. La loro caratteristica è un'elevata velocità di crescita, la quale permette l'accumulo della biomassa e l'assorbimento di una significativa quantità di CO₂. Nei sistemi integrati di allevamento ittico, le alghe possono rimuovere fino al 90% dello scarico di nutrienti da un allevamento ittico intensivo. La coltivazione delle alghe potrebbe alleviare i problemi di eutrofizzazione dovuta all'acquacoltura o agli scarichi delle acque reflue. Sembrano essere anche buoni substrati per il biogas.

5-ALGA SPIRULINA



Figura 5. Alga spirulina

L'alga spirulina chiamata scientificamente *Spirulina Platensis*, è una proteina unicellulare, nello specifico una microalga. Questi organismi unicellulari possono utilizzare una grande varietà di materie prime e rifiuti come fonti di carbonio, nutrienti ed energia per la propria crescita e per la produzione di biomassa ricca di proteine. Il contenuto proteico varia a seconda delle condizioni della coltura, della specie e dei ceppi. I maggiori problemi sono il rischio degli allergeni e l'accumulo di metalli pesanti, pesticidi e tossine soprattutto se coltivati su substrati inquinanti e contaminanti. Gli acidi nucleici e i loro derivati vengono rapidamente degradati nel rumine e alcuni prodotti finali possono essere riutilizzati come fonti di carbonio e azoto per la crescita batterica, anche se l'azoto non è facilmente disponibile. Le fasi fondamentali delle proteine unicellulari sono la preparazione del terreno di coltura, la fotosintesi, la raccolta e la lavorazione, nella lavorazione troviamo il lavaggio, la distruzione cellulare, l'estrazione e la purificazione delle proteine. Questa produzione ha elevati costi di produzione, anche se in futuro potrebbe diventare economicamente fattibile per la necessità sempre più crescente di salvaguardare l'ambiente e di intensificare l'utilizzo di nutrienti e risorse combinati con un forte aumento dei prezzi causati dalla prospettiva della scarsità di proteine.

Le microalghe sono organismi microscopici che si trovano nelle riserve d'acqua. Questi microrganismi sfruttano la luce come unica fonte di energia e la usano anche per sintetizzare sostanze utili sia per l'uomo che per gli animali ad esempio antiossidanti, proteine, vitamine e omega-3. L'alga spirulina esiste da 3,6 miliardi di anni ed è la più antica forma di vita fotosintetica apparsa sul pianeta e si pensa che sia il ponte evolutivo tra i batteri e le piante verdi. L'alga spirulina è una microalga o un cianobatterio non ramificata, elicoidale e filamentosa ed è lunga circa mezzo millimetro. Vive nelle acque dolci delle regioni subtropicali e ha bisogno di un pH estremamente alcalino, compreso in un range di valori tra 9 e 11. È una

microalga conosciuta fin dai tempi antichi e recentemente sono stati eseguiti studi per scoprire gli effetti nutritivi. Viene spesso definita green food.

La spirulina ha una composizione biochimica che la rende un alimento molto bilanciato, è formata da:

- Proteine: contiene un'elevata percentuale di proteine comprese tra il 55 e il 70% sul peso secco;
- Acidi grassi essenziali: ha un'elevata concentrazione di PUFA e il 2% di lipidi totali, è ricca anche di acido linoleico.
- Vitamine: contiene vitamine B1, B2, B3, B6, B9, B12, C, D ed E;
- Minerali: è una ricca fonte di potassio, calcio, rame, ferro, magnesio, manganese, fosforo, selenio e sodio;
- Pigmenti fotosintetici: contiene clorofilla-a, xantofille, β carotene, zeaxantina, cantaxantina ficobiliproteine.

| NUTRIENTI | % COMPOSIZIONE | DETTAGLI |
|-------------|----------------|------------------------------------|
| Proteine | 65 | 8 amminoacidi essenziali |
| Carboidrati | 15 | 10 amminoacidi non essenziali |
| Lipidi | 6 | 7 tipi di acidi (alfa linoleico..) |
| Vitamine | 0.75 | B1, B2, B3, B6, B9, B12, B7, D, B5 |
| Minerali | 8 | Micro e macro elementi |
| Carotenoidi | 346 mg/100 g | Alpha-Carotene, Beta-carotene |

Tabella 2. Nutrienti Spirulina Platensis

La spirulina contiene il 65% di proteine con un elevato valore biologico, in particolar modo di biliproteine. Queste proteine hanno un grado di utilizzazione molto alto, ovvero di circa 85%. Le microalghe hanno una composizione nutritiva molto variabile, come mangimi per animali possono avere molteplici usi. La spirulina o la spirulina sgrassata hanno un alto contenuto di carboidrati possono sostituire le proteine convenzionali. La composizione di amminoacidi delle microalghe generalmente si confronta con la farina di soia e quella di colza, anche se rispetto a quest'ultime le microalghe hanno un contenuto minore di istidina, che è il primo amminoacido che limita la produzione di latte su insilati d'erba e diete a base di cereali (Vanhatalo et al.1999). Si pensa inoltre che la degradabilità proteica di molte specie di microalghe sia superiore a quella

della colza. La spirulina, al contrario di altri microrganismi la spirulina non ha pareti di cellulosa bensì un involucro di mureina che è abbastanza fragile e di conseguenza di più facile digestione, infatti non richiede la cottura. La digestione delle proteine animali provoca la formazione di scorie metaboliche mentre la digestione delle proteine della spirulina non produce alcuna scoria.

Le microalghe verdi-azzurre sono il fondamento della catena alimentare. Producono oltre del 50% dell'ossigeno del pianeta e la loro presenza o assenza caratterizza la fertilità dei terreni. Purtroppo, l'inquinamento ha distrutto molte fonti naturali di spirulina, anche se oggi giorno vengono coltivate in luoghi incontaminati. La zona di provenienza e la metodologia di lavorazione incidono molto sulla qualità dell'alga.

Gli studi su questa alga hanno messo in evidenza le caratteristiche antiossidanti, immunostimolanti, antitumorali, antinfiammatori, immunostimolanti, cardioprotettivi, antidiabetici, epatoprotettivi, neuroprotettivi e potenziali antimicrobici. I vantaggi di quest'alga sono tali da essere classificata dalla FAO come integratore ideale nella dieta, essi vengono generalmente suddivisi in: proprietà antiossidanti, energizzanti, supplemento di carenze minerali e vitaminiche.

Gli effetti dell'alga spirulina sono dati da:

- Ficocianina: è un pigmento presente in alta concentrazione nelle alghe azzurre che ha l'effetto di eliminare i radicali idrossilici.
- Polifenoli: queste sono molecole utili, soprattutto nella prevenzione delle malattie cronicodigestive.
- Betacarotene: ha azione anti-radicalica.

L'appetibilità delle microalghe può essere migliorata attraverso lavorazioni, come la pellettizzazione. La produzione locale di microalghe in stagni o fotobioreattori chiusi collegati al sistema di abbeveraggio degli animali potrebbe ridurre gli apporti energetici di essiccazione, conservazione e trasporto dei mangimi, rendendo in futuro la coltivazione di microalghe un concetto praticabile anche in agricoltura estensiva.

5.1 FASE DI PRODUZIONE

Rispetto alle colture tradizionali la coltivazione dell'alga spirulina comporta numerosi vantaggi. Da origine ad elevate rese, con il 60% di proteine sul secco e la sua rapida crescita, raggiunge rese proteiche di 20 volte maggiori della soia e 40 volte maggiori del mais.

La coltivazione non richiede di terreni fertili e anzi si possono utilizzare anche terreni altamente salini. Questa alga utilizza una quantità di acqua su kg di proteina prodotta di circa 2100 l/kg, il mezzo di coltura può essere riciclato e le perdite si hanno solo a causa dell'evaporazione.

Può essere coltivata in piccole quantità in fossi nei quali ci sia un flusso idrico molto basso. La produzione di spirulina attualmente la troviamo in 22 paesi con una produzione mondiale annua che si aggira attorno alle 3000 tonnellate. Solitamente queste elevate produzioni sono effettuate in bacini idrici profondi, con grandi pale per la miscelazione della coltura. La superficie di questi bacini varia da 1000 m² a 5000 m² con una profondità che va dai 15 ai 18 cm.

Le microalghe hanno essenzialmente quattro fasi di crescita:

1. Fase di adattamento (lag phase);
2. Fase di crescita logaritmica (log phase);
3. Fase stazionaria;
4. Fase declinante.

Nella prima fase le microalghe sono attive dal punto di vista metabolico e usano l'energia per accrescere le dimensioni della cellula e sintetizzano enzimi e composti che servono nelle fasi successive per la divisione cellulare e per la riproduzione. Successivamente troviamo la log phase, che è la fase in cui avviene una crescita intensa e si può osservare un aumento del numero di cellule con andamento logaritmico. Nella fase stazionaria il numero di organismi rimane costante perché alcune cellule continuano a suddividersi mentre altre muoiono. Ed infine nell'ultima fase, chiamata declinante il numero di cellule che si decompongono è maggiore rispetto a quelle che si riproducono, si arresta la crescita per un'eccessiva concentrazione algale, per carenza di nutrienti o per accumulo di metaboliti tossici.



Figura 6. Crescita alga spirulina

5.2 METODO DI PRODUZIONE

Per la produzione di microalghe ci sono essenzialmente due tipi di metodo:

- In bacini aperti;
- In fotobioreattori.

Il primo metodo è stato il caso su cui si sono eseguiti più studi, possiamo avere diversi tipi di bacini aperti, che possono essere in acqua naturali oppure artificiali. Nelle acque naturali troviamo laghi, lagune e stagni mentre nelle acque artificiali troviamo bacini o contenitori. I sistemi più usati sono bacini grandi ma poco profondi, serbatoi, vasche circolari e stagni Raceway, quest'ultimi sfruttano le tecnologie e le conoscenze riguardanti la depurazione delle acque reflue. Gli stagni Raceway sono bacini scavati nel terreno e impermeabilizzati attraverso l'utilizzo di membrane plastiche, hanno una profondità che può arrivare fino ai 20-30 cm e una sezione con pale meccaniche che permette lo scambio con l'atmosfera; infatti, per avere una corretta produzione di alga spirulina è necessario rimuovere l'ossigeno che loro stesse producono durante la fotosintesi. L'unico svantaggio di questa metodologia di produzione è lo sfruttamento di vaste aree che diversamente sarebbero impiegate nell'agricoltura.



Figura 7. Bacini di produzione

Nei bacini chiusi il controllo ambientale è migliore rispetto ai precedenti, ma con costi di gestione elevato. Questo tipo di bacino è coperto da una serra che consente la coltivazione in momentanea di più specie e allunga la stagione di crescita; infatti, se noi avessimo una serra

riscaldata, potremmo pensare di produrre costantemente per tutto l'anno. Inoltre, in questo tipo di sistema, è possibile andare ad aumentare la quantità di ossido di carbonio e quindi, di conseguenza, ad aumentare il tasso di crescita delle alghe.



Figura 8. Bacino chiuso di controllo

Un'altra metodologia utilizzata sono i fotobioreattori, che sono sistemi colturali studiati per avere una maggior crescita delle microalghe, ma anche di cianobatteri e batteri fotosintetici. I fotobioreattori possono essere chiusi o aperti, nel primo caso abbiamo la necessità di utilizzare tecnologie all'avanguardia, per quanto riguarda il controllo dei parametri per avere una resa più elevata. I fotobioreattori chiusi, sono strutture in cui le alghe non entrano in contatto con l'atmosfera e di conseguenza con i suoi inquinanti, quindi garantisce un prodotto controllato.

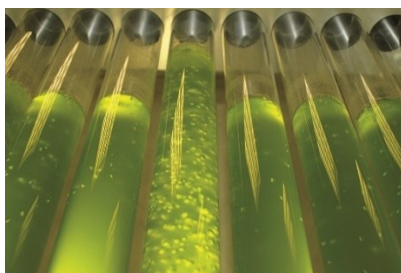


Figura 9. Fotobioreattori

Queste strutture possono essere di diverso tipo:

- Tubolari;
- A pannelli piatti;
- A colonna verticale.

| | |
|----------------------------|---|
| Tubolari | È uno dei più adatti per grandi masse, sono costituiti da un tubo di vetro o plastica e la ricircolazione delle alghe avviene sia con la pompa che con il trasporto aereo, rendono bene se utilizzati all'esterno. |
| A pannelli piatti | Hanno un'ampia superficie di illuminazione, sono costituiti da una lastra piana e in materiale trasparente per il massimo utilizzo dell'energia solare, vi è un buon accumulo di ossigeno anche se minore rispetto a quelli tubolari. |
| A colonna verticale | Sono compatti, a basso costo e facili da utilizzare. Da questi si ricava una buona produzione di massa algale. |

Tabella 3. Diversi tipi di fotobioreattori



Figura 9. Fotobioreattore tubolare



- Grande superficie di illuminazione;
- Adatto per le colture esterne;
- Buona produzione di biomassa;
- Incrostazioni;
- Abbondante sviluppo in parete;
- Relativamente economico.

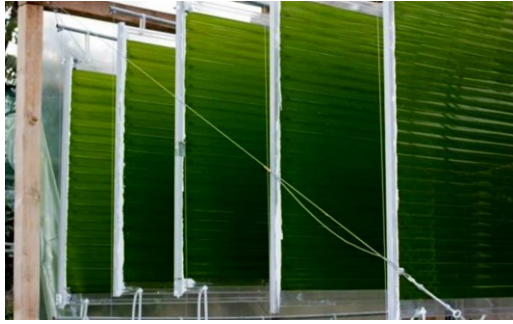


Figura 10. Fotobioreattore a pannelli

- Ampia superficie illuminata;
- Adatto per colture all'aperto;
- Buona produttività algale;
- Facile da pulire;
- Basso accumulo di ossigeno;
- Elevato numero di scomparti;
- Difficoltà nel controllare la temperatura.



Figura 11. Fotobioreattore a colonna verticale

- Trasferimento elevato di massa;
- Buona miscelazione con minimo sforzo;
- Facile da sterilizzare;
- Facilmente temperato;
- Ridotta foto inibizione e foto ossidazione;
- Piccola superficie di illuminazione;
- Utilizzo di materiale sofisticati.

La profondità dove vengono allevate le microalghe deve essere molto ridotta, in quanto deve permettere una buona penetrazione delle radiazioni solari (questo vale nei bacini aperti e chiusi).

Per avere un adeguato sviluppo della massa algale è necessario rimuovere l'ossigeno prodotto dalla fotosintesi che inibisce i processi biologici della spirulina. Viene sfruttata l'evaporazione spontanea per ottenere il raffreddamento del liquido della coltura, anche se questo deve essere controllato per essere sicuri che sia avvenuto un corretto abbassamento termico. I bacini chiusi essendo di semplice utilizzo e non richiedendo tecnologie all'avanguardia sono preferibili ai fotobioreattori sia per quanto riguarda l'efficienza energetica sia dal punto di vista del rapporto costi: benefici.

La miscelazione della coltura nei bacini avviene attraverso un sistema movimentato dall'energia eolica o meccanicamente attraverso l'operatore.

La maturazione dell'alga è visibile, infatti appare di colore verde scuro. Per la raccolta si utilizza una filtrazione su stoffa a cui segue un'essiccazione al sole.

Il costo più elevato nel processo produttivo è quello relativo al periodo di crescita, anche se possono essere ridotti con l'utilizzo di effluenti di scarto che possono essere disponibili in zone

rurali. La tipologia che oggi giorno viene più utilizzata prevede la foderatura con un materiale plastico, generalmente PVC, del bacino con conseguente abbattimento dei costi di produzione. Nei grandi impianti produttivi è fondamentale monitorare costantemente i parametri vitali delle microalghe per avere un'ottimizzazione della produzione.

5.3 LA RACCOLTA

Il liquido contenuto nelle vasche viene convogliato ad un'unità filtrante che permette di separarlo in due flussi distinti:

- La massa algale umida, dove c'è la maggiore concentrazione della coltura;
- Il liquido filtrato viene nuovamente immesso nelle vasche poiché ancora ricco di sali e di sostanze nutrienti utili per la crescita della microalga.



Figura 12. Raccolta

Successivamente alla raccolta della massa algale può essere lavorata in due modi diversi. O viene raccolta in dei sacchetti di tela alimentare e sottoposta ad una pressatura per ridurre al minimo la sua umidità, poi la pasta d'alga viene inserita in una macchina trafilatrice che permette di ottenere degli spaghetti di piccolo diametro, di circa 1,55 mm, questo permette una disidratazione a basse temperature che ridurrà ulteriormente l'umidità del prodotto senza deteriorarne le proprietà nutrizionali. Gli spaghetti d'alga vengono messi in telai alimentari e mandati in cella di essiccazione, che viene alimentata con il calore dell'impianto biogas.

Oppure la massa algale viene inviata direttamente all'essiccamento, effettuato a 50° per alcune ore, una volta che viene essiccata viene polverizzata ed imbustata.

6-ACCUMULO DI METALLI PESANTI NELLA SPIRULINA

I metalli pesanti sono inquinanti ambientali tossici, questo è un problema che cresce in maniera importante sia per quanto riguarda le sfere ecologiche e ambientali, ma anche sotto il punto di vista evolutivo e nutrizionale. Troviamo diversi metalli pesanti nell'ambiente: Rame (Cu), Ferro (Fe), Manganese (Mg), Selenio (Se) che esercitano importanti funzioni biochimiche e fisiologiche negli organismi viventi, ma purtroppo la maggior parte dei metalli pesanti non ha alcuna funzione biologica per gli esseri viventi anzi è tossica anche a basse concentrazioni.

Negli anni i metalli pesanti hanno trovato diverse applicazioni nei diversi campi lavorativi andando così ad essere rilasciati nelle risorse idriche sia superficiali che sotterranee.

Nei sistemi biologici i metalli colpiscono gli organelli cellulari e i componenti di membrana cellulare, mitocondriale, il lisosoma, il reticolo endoplasmatico e nuclei e possono interrompere le strutture e le funzioni degli enzimi legandosi con i gruppi tiolici. (Wang e Shi,2001; Ayangbenro e Babalola,2017).

Per rimuovere e recuperare i metalli viene utilizzata la bonifica microbica, i microrganismi utilizzano bioassorbimento, bioaccumulo, biomineralizzazione e biotrasformazione. Il bioaccumulo è un importante fenomeno biologico che comporta l'assorbimento del metallo che include diverse fasi: adsorbimento, precipitazione, complessazione e trasporto attivo della cellula. I cianobatteri *Spirulina platensis* sono stati applicati attivamente per l'accumulo di metallo da sistemi singoli e multicomponenti (Zinikovskaia et al., 2015, al.2016).



Figura 13. Spirulina essiccata

6.1 BIOACCUMULO DI CADMIO NELLA SPIRULINA

Il maggiore problema che tutti i paesi riscontrano è la contaminazione e l'accumulo di sostanze tossiche nell'ambiente. Il cadmio è un metallo, di colore bianco argentato malleabile, presente in tracce nella crosta terrestre, nell'aria e nell'acqua. Il suo nome ha origine dalla città di Cadmo (in Grecia), dove nell'antichità veniva estratto. Il cadmio è un metallo che reagisce facilmente con altri elementi formando vari composti, alcuni dei quali tossici, si trova raramente nella forma pura, o elementare. La forma minerale primaria è il solfuro di cadmio, mentre i due composti che si dissolvono facilmente in acqua sono il solfato e il cloruro di cadmio.

Questo metallo viene rilasciato nel suolo, nell'acqua e nell'aria da fonti naturali ma soprattutto a seguito delle lavorazioni industriali tra le quali: estrazione, raffinazione e lavorazione di metalli non ferrosi, la produzione di batterie e vernici, la produzione e l'utilizzo di fertilizzanti a base di fosfati, l'uso di combustibili fossili (carbone e petrolio) ed infine l'incenerimento e lo smaltimento dei rifiuti.



Figura 14. Cadmio

Quando il cadmio si trova nell'aria, si diffonde con il vento percorrendo distanze anche molto lunghe rispetto a dove si trovava inizialmente, ed infine si deposita sul suolo o sulla superficie dell'acqua. I livelli più alti di cadmio si trovano nel suolo o nelle acque vicino a zone industriali o a siti di rifiuti pericolosi, oppure semplicemente vicino a strade ad alta percorrenza, a causa dello scarico delle automobili, infine vicino ai terreni agricoli.

Quando si trova nel suolo, il cadmio si lega alla materia organica, venendo successivamente assorbito dalle piante delle colture agricole, entrando così nella piramide alimentare. Nelle acque superficiali invece crea quella che viene definita bioaccumulazione.

Fino alla metà del '900 il cadmio era utilizzato esclusivamente per conciare la pelle e come pigmento nei coloranti, anche se le quantità erano parecchio limitate, al giorno d'oggi il cadmio ha trovato utilizzo in diversi campi:

1. Batterie ricaricabili; (essendo un prodotto usa e getta, costituisce la maggior parte dell'inquinamento)
2. Coloranti;
3. Rivestimenti e placcature;
4. Stabilizzante nelle materie plastiche;
5. Leghe con altri metalli per saldature.

A causa del suo basso limite di esposizione accettabile, possono verificarsi sovrapposizioni anche in situazioni in cui non si trovano tracce di cadmio.

Il meccanismo di legame tra gli ioni dei metalli pesanti e l'effetto tossico causato da essi si differenziano nelle diverse specie microbiche. Solitamente questi ioni vengono trasportati all'interno della cellula attraverso dei trasportatori proteici, la concentrazione degli ioni metallici trasferiti in essa dipende anche dalla quantità di ioni che si trovano in prossimità del canale di trasporto.

Il meccanismo di bioaccumulo di ioni di metalli pesanti da parte dei microrganismi non è ancora completamente conosciuto, Chojnacka e Wojciechowski hanno descritto questo meccanismo in due fasi: una fase attiva e una fase passiva. Nella prima fase avviene un legame preliminare e rapido degli ioni metallici alla parete dell'alga spirulina, nella seconda fase invece abbiamo un trasporto più lento attraverso la membrana cellulare.

Molto importante è sapere che la crescita della coltivazione delle alghe è legata alla dipendenza con la luce e molti modelli derivano da una combinazione di fenomeni di attenuazione della luce e una curva di risposta alla luce basata sulla legge di Beer-Lambert e su un'equazione di tipo Monod. Kim et al. e Bagus hanno applicato l'equazione di Monod dipendente dalla luce per i cianobatteri nel fotobioreattore. Gli esperimenti di bioaccumulo sono condotti ad intensità luminose ottimale e quindi non è possibile applicare i modelli basati sulla deviazione dell'intensità luminosa.

Resa di crescita

Se indichiamo con Δx l'incremento di biomassa conseguente all'utilizzazione della quantità ΔS di substrato, si definisce resa di crescita o resa in biomassa e si indica con $Y_{x/s}$ o $Y_{x,s}$

$$\lim_{\Delta S > 0} \frac{\Delta x}{\Delta S} = \frac{dx}{ds} = Y = Y_{x/s}$$

Considerando che la biomassa prodotta e il substrato consumato variano in direzione opposta, si ha:

$$Y = - \frac{dx}{ds}$$

Figura 15. Formule dei modelli

È stato ampiamente dimostrato che i materiali biologici sono in grado di adsorbire i metalli pesanti da soluzioni acquose, specialmente se i metalli sono presenti in concentrazioni inferiori a 1 mg/L. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, la concentrazione di cadmio nelle acque naturali non inquinate, dovrebbe essere inferiore a 0,001 mg/l. I vari ricercatori hanno riportato il bioassorbimento del cadmio da parte delle cellule vive e immobilizzate di *Spirulina Platensis*, il potenziale di biorisanamento della *Spirulina* è stato anche studiato con quasi tutti gli ioni di metalli pesanti e altri composti tossici.

Gli studi sono effettuati in un pallone agitato a condizioni ristrette, mentre la produzione commerciale della biomassa di *Spirulina* viene effettuata utilizzando grandi bacini.

7-NORMATIVE

Per quanto riguarda la normativa europea sull'utilizzo delle alghe in alimentazione zootecnica, non esiste una vera e propria regolamentazione comunitaria. Per legge, con il termine alghe marine si fa riferimento alle alghe marine pluricellulari, al fitoplancton e alle microalghe. Con il regolamento (UE) 2015/2283, si definisce che il prodotto alga marina e i suoi derivati sono nuovi prodotti per cui ci vorrà tempo per lasciare spazio alle sperimentazioni per determinare le dosi che sono possibili nell'uso come additivi alimentari a scopo produttivo. Importante, però è la raccomandazione (UE) 2018/464 in cui si disciplina il monitoraggio di metalli e di iodio nelle alghe marine, nelle alofite e nei prodotti a base di alghe marine. Questa raccomandazione (UE) 2018/464 DELLA COMMISSIONE del 19 marzo 2018 – relativa al monitoraggio di metalli e dello iodio nelle alghe marine, nelle alofite e nei prodotti a base di alghe marine afferma che: “Gli Stati membri, in collaborazione con gli operatori del settore alimentare e dei mangimi, monitorano nel corso degli anni 2018, 2019 e 2020 la presenza di arsenico, cadmio, iodio, piombo e mercurio nelle alghe marine, nelle alofite e nei prodotti a base di alghe marine. Il monitoraggio dovrebbe includere le alofite commestibili, tra cui *Salicornia europaea* e *Tetragonia tetragonoides*, nonché un'ampia varietà di specie di alghe marine, rispecchiando le abitudini di consumo e gli usi nei mangimi [...], al fine di consentire una stima accurata dell'esposizione. È opportuno raccogliere dati di occorrenza anche per gli additivi alimentari a base di alghe marine [...]” “Dovrebbero essere indicate le specie o i numeri degli additivi e dovrebbe essere precisato se sono stati analizzati prodotti freschi, essiccati o trasformati. Se possibile, dovrebbero anche essere precisati l'origine dei prodotti (selvatici o coltivati), la data e il luogo di raccolta e la quota di alghe marine che è stata analizzata, fornendo eventuali informazioni sull'etichetta dei prodotti finali.” “I dati del monitoraggio dovrebbero essere trasmessi regolarmente all'EFSA [...]” “Nel 2006 il comitato scientifico per l'alimentazione umana ha stabilito un limite massimo di assunzione di iodio di 600 µg/giorno per gli adulti e di 200 µg/giorno per i bambini di età compresa tra 1 e 3 anni. Esso ha precisato che l'ingestione di prodotti a base di alghe ad alto contenuto di iodio, in particolare prodotti essiccati, può comportare un'assunzione pericolosamente eccessiva di iodio, se tali prodotti contengono più di 20 mg di iodio per kg di materia secca.

8-INFLUENZA DELL'ALGA SPIRULINA NELLA PRODUZIONE DI METANO

Il rumine è il primo stomaco dei ruminanti e fornisce ai microrganismi un habitat adatto per la crescita. All'interno di questo primo stomaco troviamo microbi di varia natura: protozoi, batteri anaerobi e funghi anaerobi, derivati dalla degradazione del mangime. I microrganismi aiutano a degradare materiali di lignina e cellulosa, generando proteine, vitamine e acidi organici a catena corta. Gli acidi prodotti nel rumine sono acetico, propionico e butirrico e contribuiscono alla nutrizione animale.

I microrganismi ruminali nel tempo si sono evoluti, grazie all'utilizzo di biopolimeri complessi delle pareti cellulari delle piante come cellulosa, emicellulosa e pectina. Questa degradazione coinvolge 21 diverse attività enzimatiche ed è stato isolato un complesso extracellulare multienzimatico chiamato celulosoma, questo è stato identificato dai batteri anaerobi come un fattore che lega le cellule batteriche alle particelle di cellulosa riducendo al minimo le perdite. Un'altra attività enzimatica di grande interesse nel rumine è la fermentazione dei carboidrati da parte dei funghi anaerobi, che digeriscono quasi tutti i carboidrati strutturali nelle cellule vegetali, questa attività è prodotta dalla fase vegetativa delle zoospore, i prodotti ottenuti sono lattato, acetato, idrogeno e anidride carbonica. Il fluido ruminale è stato testato per la degradazione della cellulosa e dei residui di lignina.

Sono stati eseguiti degli studi che hanno valutato l'idrolisi della biomassa microalgale residua come mangime per ruminanti. Questi studi suggeriscono che le microalghe estratte dai lipidi sono altamente digeribili dai microrganismi ruminali, indicando il potenziale di questi microrganismi di degradare le cellule delle microalghe come pretrattamento per la produzione di biocarburanti. In un altro studio, la *Spirulina platensis* è stata inclusa nell'assunzione di acqua potabile da parte dei bovini, mostrando un incremento della concentrazione di urea nel siero del sangue, questo suggerisce la pronta degradazione e liberazione di proteine delle microalghe bypassano il rumine. Nella seguente tabella abbiamo le principali attività enzimatiche necessarie per l'idrolisi delle microalghe e i microrganismi che svolgono queste attività nel rumine.

| Diversi polimeri di substrato presenti nelle microalghe | Attività enzimatica | batteri | Fungo | Protozoi |
|---|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Cellulosa, emicellulosa, pectina | Cellulasi, emicellulasi, pectinasi | <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> | <i>Neocallimastix frontalis</i> | |
| | | <i>Ruminococcus albus</i> | <i>Neocallimastix patriciarum</i> | |
| | | <i>Ruminococcus flavefaciens</i> | <i>Caecomyces communis</i> | |
| | | <i>Fibrobacter succinogenes</i> | <i>Piromyces communis</i> | |
| | | <i>Ruminobacter amylophilus</i> | | |
| | | <i>Selenomonas lactilytica</i> | | |
| Amido | amilasi | <i>Lachnospira multiparus</i> | | |
| Pectina | pectinasi | <i>Lachnospira multiparus</i> | | |
| Proteina | proteasi | <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> | | <i>Entodinium caudatum</i> |
| | | | | <i>Entodinium simplex</i> |
| Lipidi | lipasi | <i>Clostridium tertium</i> | | |
| | | <i>Anaerovibrio lipolytic</i> | | |

Tabella 4. Polimeri substrato algale

9-L'USO DELLA SPIRULINA NELL'ALIMENTAZIONE DEI BOVINI

L' analisi della bibliografia disponibile sull'argomento della tesi ha evidenziato pochi contributi riferiti a sistemi zootecnici di diverso tipo.

I risultati degli articoli scientifici sono evidenziati nella tabella sottostante.

| RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO | SISTEMA DI ALLEVAMENTO | METODI | RISULTATI PRINCIPALI |
|--|---|--------------------------------------|---|
| ▪ Holman, A. E. O. Malu-Aduli (2012). Spirulina as a livestock supplement and animal feed. Jurnal of Animal physiology and animal nutrition, 615-623. | Bovine da latte in Australia al pascolo | 200 gr di spirulina al giorno | Maggiore produzione di latte, ma pochi studi a riguardo per effettuare un confronto |
| ▪ E. Manzocchi- B. Guggenbuhl- M. Kreuzer- K. Giller (2020). Effects of the substitution of soybean meal by spirulina in a hay-based diet for dairy cows on milk composition and sensory perception. Journal of Dairy science, 11349-11362. | Bovine da latte al pascolo | 15-30 g/giorno di spirulina | Riduzione fermentazione ruminale, modificazione caratteri sensoriali del latte |
| ▪ J. Kulpys- E. Paulauskas- V. Pilipavičius- R. Stankevicius (2009). Influence of cyanobacteria <i>Arthrospira (Spirulina) platensis</i> biomass additives towards the body condition of lactation cows and biochemical milk indexes. Agronomy Research 7, 823-835 | Bovine da latte in Lituania, al pascolo | Integrazione con 200 gr di spirulina | Miglioramento di produzione, contenuto di grasso, proteine e anche lattosio |

Tabella 5. Articoli analizzati

SPERIMENTAZIONI IN AUSTRALIA (Holman et al. 2012)

In Australia la domanda di prodotti lattiero caseari è in aumento a causa della ricerca di prodotti proteici e di conseguenza si ha anche un'espansione del mercato dei prodotti lattiero-caseari. Come da tradizione gli allevatori australiani, prediligono il pascolo come fonte per l'alimentazione dei bovini, il grosso svantaggio nell'utilizzo di questa tecnica è che il valore energetico dell'erba dei pascoli non è sufficiente per coprire i fabbisogni della lattifera per la produzione del latte. Inoltre, il contenuto di grasso nel latte delle vacche tenute esclusivamente al pascolo ha un valore molto esiguo. Pertanto, l'alternativa è l'integrazione con integratori alimentari ricchi di nutrienti, idealmente un alimento utilizzato come integrazione dovrebbe essere ricco di energia altamente digeribile, nutriente, economico e senza alcun impatto negativo sul bestiame e sull'ambiente.

La scelta degli allevatori australiani è stata la *Spirulina platensis*, valida opzione per una nuova fonte di mangime per le bovine.

SPIRULINA NELLA COMPOSIZIONE DEL LATTE

Il grasso e le proteine nel latte sono la parte più importante ed è su questo che si basano i sistemi di pagamento in Australia. Queste due componenti sono influenzate dalla nutrizione e dallo stadio di lattazione dell'animale. Durante la stagione del pascolo questi elementi sono carenti per cui è necessario avere un apporto maggiore di integratori energetici.

L'alga spirulina è una fonte ricca di adeguati nutrienti ed energia ed è molto utile per aumentare la produzione di latte. Kuplys (et al.,2009) ha osservato che nelle razioni integrate con 200 g di *Spirulina Platensis* gli animali hanno prodotto 6 kg in più di latte rispetto al solito. Quest'alga può essere utilizzata anche per aumentare la produzione di proteine nel latte, infatti secondo altri studi, le proteine nel latte, con l'integrazione di *Spirulina Platensis* aumentano anche di 1,5 g/Kg.

Dunque, anche se vi è stata una risposta positiva in base a questo studio, i risultati contrastanti in studi precedenti indicano la necessità di indagare ulteriormente sugli effetti di quest'alga per capire la relazione sulle diete di allattamento.

ARTICOLO SULLE SPERIMENTAZIONI NEI BOVINI (Carillo et al.2016)

Negli ultimi anni le microalghe sono state utilizzate nelle diete dei ruminanti per arricchire a livello nutrizionale la carne e il latte; infatti, i ruminanti sono gli animali giusti per studiare l'effetto delle microalghe in quanto possono digerire gli organismi della parete cellulare che spesso non vengono elaborati.

L'integrazione di microalghe per i ruminanti è un metodo efficace per ridurre gli acidi grassi saturi e le concentrazioni crescenti di acido linoleico coniugato e altri PUFA nel latte dei ruminanti (Franklin, et al. 1999, Papadopouls et al. 2012). Questi cambiamenti nel profilo degli acidi grassi sono probabilmente correlati a cambiamenti nella flora batterica ruminale della popolazione.

I ricercatori hanno dimostrato che con l'aggiunta di microalghe nella dieta delle bovine da latte, ha portato a livelli alti di DHA e acido linoleico coniugato nel grasso del latte ed una diminuzione degli acidi grassi saturi. (Franklin, et al. 1999)

A causa delle differenze dei tipi di mangime, delle diverse diete, dei diversi profili nutrizionali, in base ai tipi e nei livelli di integrazione e alla durata del periodo sperimentale non è facile confrontare la correlazione tra gli effetti della produzione quantitativa di latte e l'alimentazione delle microalghe. (Altomonte, et al. 2018)

È stato constatato che la diminuzione del concentrato contenente microalghe viene bilanciato da un maggior consumo di insilato, quando è stata eseguita nelle vacche, il numero massimo di microalghe ingerite senza alcun effetto sul mangime, l'assunzione varia da 4 a 79 g di microalghe/ kg di sostanza secca nella dieta, è importante notare che questo effetto di riduzione dipende dalle razioni fornite insieme alle microalghe. (Papadopoulos, et al. 2002; Moate, et al. 2011).

Da Silva, et al. (2016) è stato fatto un esperimento in cui sono stati valutati gli effetti della sostituzione parziale del mais macinato dietetico con un pasto di microalghe (composta da microalghe disoleate e gusci di soia) nelle diete bovine. È stato osservato che l'aggiunta di microalghe nella dieta aumenta la digeribilità rispetto alla dieta di controllo.

ARTICOLO CHE SPIEGA L'AUMENTO DI CARATTERI NEL LATTE CON L'AGGIUNTA DI ALGA SPIRULINA (Manzocchi et al.2020)

La biomassa del cianobatterio Spirulina è una promettente fonte proteica che rappresenta una valida alternativa alla farina di soia nelle diete delle vacche da latte. Come precedentemente detto la spirulina può essere prodotta su terreni marginali o addirittura senza terra e quindi non entra in competizione con la terra per le risorse alimentari umane.

È stimato che entro il 2054, le fonti proteiche alternative rappresenteranno per il 33% del consumo totale globale di proteine. Solo pochissimi studi hanno valutato la spirulina come ingrediente nelle razioni delle bovine.

Studi hanno riportato che la somministrazione di alga spirulina riduce l'appetibilità nei mangimi concentrati (Moate et al. 2013, Laminen et al. 2019).

Si è deciso di integrare con 15-30 g/giorno spirulina la dieta delle vacche al pascolo ma questo non ha influito su BW, BCS, produzione di latte, composizione, SCC e capacità antiossidante nel sangue nella successiva lattazione. (Garcès et al., 2018).

Recentemente, Till et al. (2019), si è studiata l'integrazione della dieta delle vacche da latte con 150 g/die di un'altra microalga *Schizochytrium limacinum*, questa assunzione ha diminuito la proporzione di acidi grassi nel latte e nel formaggio ed ha aumentato il sapore di nocciola e l'odore fruttato, aumentando l'astringenza e diminuendo la cremosità di un formaggio.

Questi risultati non è possibile che siano generalizzati per tutte le microalghe nelle diete delle bovine da latte. Gli effetti della spirulina sono diversi se somministrati in quantità maggiori ad una dieta con percentuali inferiori di composti antiossidanti rispetto a quelli presenti nell'erba fresca, come nel fieno. A questo riguardo, il contenuto di fenoli nella spirulina e i loro potenziali effetti sulla capacità antiossidante non sono mai stati riportati in articoli o testi scientifici.

I benefici della spirulina che potrebbero includere un potenziale miglioramento della salute degli animali poiché è una buona fonte di micronutrienti, agenti e antiossidanti come carotenoidi, tocoferoli e acidi fenolici (Becker,2013).

L'esperimento è stato eseguito mettendo a confronto le analisi del sangue e del latte di due gruppi di bovine, il primo gruppo con una dieta in cui era presente l'alga spirulina, mentre il secondo

gruppo con una dieta in cui era presente la farina di soia, per cui una farina di leguminosa, di conseguenza, ad alto contenuto proteico.

La spirulina conteneva il 20,1% in più di proteina grezza rispetto alla soia. Aveva un contenuto di energia 5 volte superiore rispetto alla farina di soia. La spirulina era ricca di tocoferoli:

- 1- α -tocoferolo il più abbondante;
- 2- tocoferolo;
- 3- γ -tocoferolo;
- 4- ϵ -tocoferolo.

Inoltre, la spirulina conteneva una notevole quantità di β -carotene e polifenoli composti, il 90% dei quali erano fenoli non tannici mentre il restante 10% sono tannini idrolizzabili.

Il peso corporeo medio degli animali che hanno preso parte all'esperimento, non era differente tra i vari gruppi e lo stesso è avvenuto per la produzione di latte così come l'energia. Non si è notato nessun effetto dovuto dal cambiamento della dieta per quanto riguarda grassi, proteine, lattosio, urea e conta delle cellule somatiche. La concentrazione di β -carotene era maggiore nel latte totale e nel grasso delle bovine che avevano in aggiunta nella dieta alga spirulina (4,36 VS 2,59), l' α -tocoferolo e i fenoli totali e la capacità antiossidante totale non differiva tra i due gruppi. Il latte delle bovine a cui era stata somministrata alga spirulina avevano un latte di colore più giallo rispetto all'altro gruppo.

Per quanto riguarda il tempo di coagulazione del caglio, il tasso di rassodamento della cagliata e la fermezza della stessa dopo 30 minuti dall'aggiunta del caglio non è stata alterata dal cambio di dieta. Gli acidi grassi saturi (SFA) erano più alti nelle bovine alimentate con alga spirulina rispetto alle bovine dell'altro gruppo (118 mg/100g VS 28 mg/100g) tuttavia questo valore non è stato influenzato dalla sostituzione della farina di soia dalla spirulina nella dieta. Questa sostituzione ha determinato una riduzione del grasso nel latte. Le proporzioni di trans-11 erano più alte nel grasso del latte delle bovine del primo gruppo. Nonostante le differenze osservate per alcuni MUFA e PUFA individuali, le proporzioni totali dei precedenti non sono stati influenzati dalla dieta.

Il contenuto di CLA nel latte non è stato modificato così come gli indici di grasso e l'acido α -linolenico. Il contenuto medio di grassi e proteine del latte del gruppo sperimentato con l'alga spirulina era $4,6 \pm 0,15\%$ e $3,7 \pm 0,04\%$, mentre l'altro gruppo conteneva $5,2 \pm 0,09\%$ di grassi e $4,1 \pm 0,12\%$ di proteina.

CARATTERISTICHE DELLA SPIRULINA E I SUOI EFFETTI

La Spirulina è molto più ricca di proteine rispetto alla farina di soia, contrariamente ad alcuni rapporti precedenti (Madeira et al., 2017), nel lotto della microalga, non è stato possibile rilevare AF a catena molto lunga (minore di 21 atomi di carbonio).

La lunghezza della catena può essere spiegata dalle diverse condizioni: temperatura, luce, pH, disponibilità di nutrienti; dipende anche la diversità di ceppo e dal solvente utilizzato per le analisi, può variare anche la solubilità delle diverse frazioni lipidiche.

Da tutte queste informazioni possiamo dedurre che la dieta non è stata ridotta a causa dell'aggiunta del 5% di spirulina. In questo esperimento, è stata aggiunta melassa liquida a entrambe le diete sperimentali, questo potrebbe aver migliorato l'accettabilità della dieta e ha migliorato sicuramente l'appetibilità dell'alga.

L'inclusione della melassa potrebbe essere una comoda strategia per aumentare l'appetibilità delle microalghe.

EFFETTI DELLA SPIRULINA SULLA FERMENTAZIONE RUMINALE

La composizione dell'alga spirulina può influenzare sia i microbi ruminanti e quindi di conseguenza anche la fermentazione ruminale di nutrienti. Nel gruppo alimentato con spirulina la concentrazione degli acidi grassi volatili nel rumine è consistente con bassa fermentazione ruminale. Il contenuto di proteina e di conseguenza una minore proporzione di carboidrati che ha la spirulina rispetto alla farina di soia potrebbe limitare la disponibilità di substrati energetici nel rumine.

Nel rumine i microbi presenti si basano principalmente sui polisaccaridi alimentari come:

- amido;
- cellulosa;
- emicellulosa;
- pectina.

Tutti questi polisaccaridi vengono utilizzati quasi totalmente come fonte di energia per l'animale. Nella spirulina il contenuto di polisaccaridi era circa il 13% mentre la fibra altamente digeribile

rappresentava il 26%. Inoltre, il fenomeno della ridotta fermentazione ruminale non sembra essere correlato alla maggiore assunzione di carboidrati nella dieta integrata con spirulina.

È stato osservato un accumulo bioidrogeno nel rumine delle bovine del gruppo che assumeva la spirulina rispetto ai valori raccolti da quello alimentato con farina di soia.

Questo elemento potrebbe indicare una bioidrogenazione incompleta della microalga nel rumine. Che coincide con questi risultati c'è una ricerca di Boeckaert et al. 2008 che ha trovato un accumulo di C18:1 trans nel rumine degli animali che hanno seguito una dieta con aggiunta di alghe, di varietà diversa da quella utilizzata nell'esperimento, e questo era associato ai cambiamenti nella presenza e nell'attività di *Butyrivibrio* sp. nel rumine.

CONCLUSIONE ESPERIMENTO

Questa microalga ha dimostrato di essere una fonte proteica adatta per essere sostituita nella dieta delle bovine da latte al posto della farina di soia. È stato smentito dall'esperimento il fatto che la spirulina non sia appetibile in quanto con l'aggiunta di melassa gli animali l'hanno consumata senza problematiche.

Si è osservata una ridotta fermentazione ruminale ma che non ha portato conseguenze negative per la produzione di latte e tantomeno nella qualità dello stesso. Inoltre, si è appurata una bioidrogenazione ruminale leggermente ridotta con conseguente minor accumulo della stessa nel latte. In parte sono state modificate le proprietà di coagulazione del latte. Il contenuto di fenoli e la capacità antiossidante totale nel plasma e nel latte non sono stati influenzati, così come le proprietà sensoriali del latte.

I benefici che ne trae la salute umana da questa dieta sperimentale sono la presenza elevata di β -carotene e γ -linolenico.

Effettuare esperimenti su un numero di soggetti più vasto e per un periodo più prolungato potrebbero essere utili i dati raccolti e successivamente comparati con i valori dell'esperimento presentato per capire se i composti bioattivi possono avere effetti anche sulla fertilità individuale della bovina e anche della mandria.

INFLUENZA DEI CIANOBATTERI SPIRULINA PLATENSIS SULLA CONDIZIONE CORPOREA DELLE VACCHE IN LATTAZIONE E INDICI BIOCHIMICI DEL LATTE (Kulyps et al. 2009)

L'obiettivo di questa ricerca era di stimare l'influenza dei cianobatteri *Spirulina Platensis* sulle condizioni fisiche delle bovine in lattazione e allo stesso tempo controllare gli indici biochimici del latte ed infine se la produzione venisse modificata.

Sono stati presi in considerazione due gruppi di bovini di razze lituane diverse, nel loro primo periodo di lattazione. Il periodo sperimentale ha avuto la durata di 90 giorni, nei quali le bovine sono state nutrite con razioni molto simili tra loro. Il primo gruppo sperimentale ha ricevuto una razione con 200 g di additivi cianobatteri *Spirulina* al giorno, mescolati con l'alimentazione combinata solitamente usata. La condizione corporea degli animali è stata valutata secondo un sistema in scala di 5 punti: periodo di asciutta, dopo il parto, e dopo il primo, secondo e terzo mese di lattazione. La produzione e gli indici di qualità del latte sono stati stimati durante la mungitura di controllo. L'esperimento ha dimostrato che le bovine alimentate con *Spirulina Platensis* hanno aumentato il valore del grasso nel latte dell'8,5-11%, e ciascun animale ha prodotto una media di 34 kg di latte al giorno, ovvero 6 kg in più rispetto all'altro gruppo. Questo metodo inoltre era economicamente efficace, in quanto il costo della *Spirulina* era recuperato dall'aumento di reddito dovuto ad una maggiore produzione.

MATERIALI E METODI

Questa sperimentazione è stata effettuata presso l'Accademia lituana di veterinaria, per 90 giorni tra aprile e giugno 2007 (fine periodo stabile, inizio periodo di pascolo). Come precedentemente detto sono stati analizzati i dati di due gruppi di bovine lituane, stimandone il punteggio corporeo, la produzione e la qualità del latte. Gli animali sono stati legati alla posta, e ciascun gruppo aveva 2 ore di movimento al giorno, sono stati alimentati individualmente mentre l'acqua era somministrata con sistemi automatici. Le bovine sono state munte due volte al giorno alle 5.00 e alle 16.00 ed entrambi i gruppi hanno ricevuto 15 kg di insilato, 2 kg di fieno e 350 g di foraggio combinato. Ogni vacca del primo gruppo sperimentale ha ricevuto inoltre 200 g di *Spirulina* secca, miscelata manualmente ai foraggi combinati. La razione di foraggio corrispondeva agli standard stabiliti per l'alimentazione del bestiame (Jatkauskas et al., 2002). L'assunzione di foraggio è stata stimata pesando prima l'ingestione e rimuovendo da questa eventuali resti. Come riportato

precedentemente, la condizione corporea degli animali è stata valutata secondo una scala di 5 punti (Heinrichs,2004) ed è stata stimata per 5 volte: nel periodo di asciutta (30 ± 10 giorni), dopo il parto (1-2 giorni), dopo 1 mese di lattazione (30 ± 10 giorni), dopo 2 mesi (60 ± 10 giorni) e al picco di lattazione (60 ± 10 giorni). La valutazione è stata fatta dopo la mungitura e l'alimentazione mattutina. L'esaminazione consisteva nella valutazione di diverse regioni: schiena, lombo e coda.

La resa in kg di latte e gli indici biochimici (grassi, proteine, lattosio, concentrazione di urea e numero di cellule somatiche) sono state misurate in entrambi i gruppi. La produzione di latte è stata stimata in azienda mentre la qualità in un laboratorio statale secondo la metodologia standard.

L'errore standard e le differenze significative tra le medie sono stati stabiliti con le variabili attraverso il P test.

RISULTATI

Le rese di latte nel primo gruppo, ovvero quello sperimentale, sono aumentate progressivamente: durante il primo mese la loro media di latte era 4 kg in più, nel secondo mese 6 kg in più e nel terzo mese 7 kg in più rispetto al secondo gruppo, ovvero il gruppo di controllo.

La produzione di latte nel gruppo di controllo è aumentata solamente all'inizio del pascolo, successivamente è rimasta la medesima. Secondo la letteratura (Kupras et al., 2003; Simkus et al., 2005) "*Spirulina platensis*" è formata da elementi alcalini e altre sostanze che possono modificare la reazione dei pre-stomaci. La condizione corporea delle bovine in entrambi i gruppi ha soddisfatto lo standard; tuttavia, dopo il parto il gruppo sperimentale aveva il 15% in più rispetto al gruppo di controllo. Al culmine dell'allattamento, le condizioni corporee di entrambi i gruppi sono diminuite, addirittura gli animali appartenenti al gruppo di controllo non corrispondevano nemmeno agli standard, anzi erano inferiori di quasi il 10%.

Per quanto riguarda la composizione del latte e gli indici biochimici, la concentrazione di grasso era piuttosto bassa nel gruppo sperimentale durante il primo e il terzo mese dell'esperimento. I fattori nutrizionali, la fibra grezza dell'erba fresca e la temperatura elevata hanno avuto un impatto nel periodo di transizione dalle stalle ai pascoli. Facendo una media dei vari controlli in entrambi i gruppi si evidenzia una produzione di latte ed una quantità totale di grasso del latte del primo gruppo significativamente più elevati.

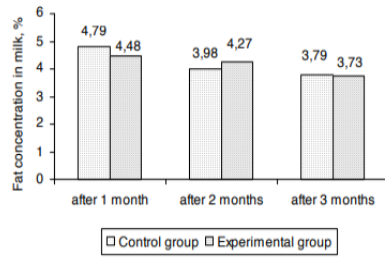


Figura 17. Concentrazione grasso nel latte

Per quanto riguarda la concentrazione di proteine nel latte nel gruppo sperimentale è tendenzialmente aumentata durante il secondo e il terzo mese dell'esperimento.

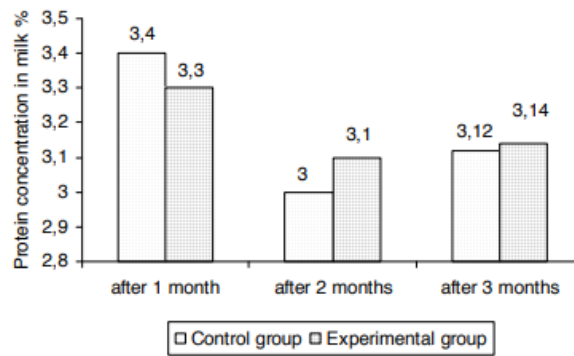


Figura 18. Concentrazione proteine nel latte

La concentrazione di lattosio è aumentata costantemente in entrambi i gruppi, anche se nel primo gruppo si ha avuto un aumento più elevato.

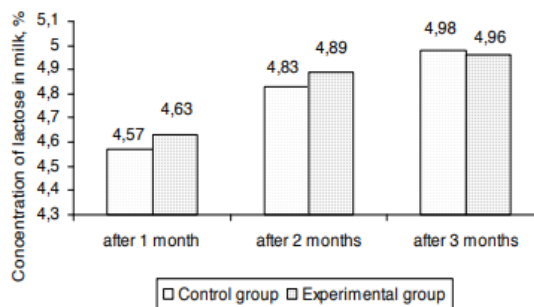


Figura 19. Concentrazione lattosio nel latte

La concentrazione di urea nel latte indica il processo di fermentazione nel rumine e il livello di nutrizione. Se l'urea nel latte è bassa, la razione è carente di proteine mentre se è alta le proteine sono in eccesso. Nell'esperimento l'influenza che ha la Spirulina sulla concentrazione di urea nel latte non è stimata.

Il numero di cellule somatiche nel latte di entrambi i gruppi di vacche ha tendenza a variare. In alcune bovine, di entrambi i gruppi, il numero è aumentato tuttavia rientrava nel range permesso durante tutto il periodo sperimentale. Secondo i dati raccolti, l'alga spirulina non ha influenzato in maniera diretta.

CONCLUSIONE

L'aggiunta di alga spirulina alla dieta nel periodo di lattazione ha avuto un'influenza positiva sulla produttività del latte del 21%.

La composizione del latte e gli indici biochimici erano simili in entrambi i gruppi di animali: la concentrazione di grasso era piuttosto bassa nel gruppo sperimentale durante il primo e il terzo mese e leggermente superiore durante il secondo mese di così anche per la parte proteica. La concentrazione di lattosio è aumentata costantemente in entrambi i gruppi; tuttavia, nel gruppo sperimentale era maggiore rispetto a quella del gruppo di controllo.

La Spirulina ha influenzato positivamente l'estro bovino e la condizione corporea. In conclusione, si può affermare che il costo affrontato per l'utilizzo della microalga era recuperato, anche con guadagno.

10-CONCLUSIONE

Al termine di questa approfondita ricerca sui mangimi alternativi e in particolar modo sulla *Spirulina Platensis*, si può concludere anche se le potenzialità di utilizzo di quest'alga sono molto estese anche se gli studiosi devono effettuare ancora diversi studi e ricerche. Dal punto di vista ambientale, l'uso delle microalghe può favorire la protezione dell'ambiente e delle risorse naturali e della loro gestione, in particolare la conservazione dell'acqua e del suolo, in quanto non c'è la necessità di occupare grandi aree per la coltivazione delle stesse.

Le microalghe sono una risorsa, dal punto di vista alimentare, promettente, fonte che può essere utilizzata nei mangimi funzionali per gli animali da reddito. Infatti, l'introduzione della *spirulina platensis* nelle diete potrebbe essere un nuovo modo per migliorare sia la salute degli animali e allo stesso tempo quella umana attraverso una sana alimentazione.

Le microalghe possiedono caratteristiche nutrizionali preziose come: proteine, vitamine ed antiossidanti che fino ad oggi sono una potenziale risorsa naturale ancora poco esplorata e di conseguenza quasi per nulla sfruttata.

Se parliamo in generale, possiamo affermare che l'aggiunta di questi composti alle diete animali migliora la loro salute generale, il loro stato immunitario e allo stesso tempo anche la produttività, la qualità e la stabilità dei prodotti ottenuti dalla zootecnia.

A causa di un gran numero di specie di microalghe, la caratterizzazione biochimica completa è essenziale per scegliere quelle più adatte alla tecnologia alimentare per essere successivamente utilizzate come integratori nelle diete.

A fronte di tutto ciò detto sopra, però, non è ancora stato dimostrato che queste possano effettivamente contribuire a ridurre l'impatto ambientale, questo perché è difficile, per ora, valutare la loro produzione. Sicuramente negli animali monogastrici, abbiamo una diminuzione di produzione dell'ammoniaca mentre nei ruminanti la produzione di metano che deriva dalle fermentazioni enteriche, è correlata a diversi fattori, che possono influire sugli effetti stessi dell'alga.

Inoltre, si deve prendere anche in considerazione che l'investimento economico necessario per la produzione di microalghe è sicuramente rilevante e non si possono trascurare tutti i costi legati alle operazioni di coltivazione, lavorazione e commercializzazione del prodotto finito alle aziende.

Tra gli altri fattori, le alghe devono essere fornite agli animali in forma essiccata e macinata, integrandole in altri prodotti, per cui sembra evidente che il loro prezzo sul mercato possa non

essere così accessibile questo deriva appunto dal fatto che esiste una necessità di manipolazione della materia prima, a carico delle industrie mangimistiche. Pur essendo un prodotto vegetale caratterizzato da una buona composizione nutrizionale, le alghe devono ancora essere sottoposte a svariate analisi prima del loro definitivo inserimento nelle diete per gli animali da allevamento.

Infine, mentre la ricerca prosegue per migliorare la produttività animale e ridurre l'utilizzo di prodotti farmacologici da un lato e gli impatti sul clima dall'altro, la normativa di riferimento sembra conferire informazioni approssimative o comunque poco soddisfacenti relative all'utilizzo di questi vegetali nell'ambito delle produzioni zootecniche.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Kinley, R. D., Martinez-Fernandez, G., Matthews, M. K., de Nys, R., Magnusson, M., & Tomkins, N. W. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120836.
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F., & Ankers, P. (2016). Seaweeds for livestock diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 212, 1–17.
- Raccomandazione UE 2018/464. (2018). Raccomandazione (UE) 2018/464 della Commissione, del 19 marzo 2018, relativa al monitoraggio di metalli e dello iodio nelle alghe marine, nelle alofite e nei prodotti a base di alghe marine. *Gazzetta Ufficiale Dell'Unione Europea*, 15(E 406), L 78/16-L 78/18.
- Shalaby, E. A. (2011). Algae as promising organisms for environment and health. *Plant Signaling and Behavior*, 6(9), 1338–1350.
- Sheved. (2019). Seaweed feed additive cuts livestock methane but poses questions. 1–11.
- Holman, A. E. O. Malu-Aduli (2012). Spirulina as a livestock supplement and animal feed. *Jurnal of Animal physiology and animal nutrition*, 615-623.
- A.Halmemies-Beauchet-Filleau, M. Rinne, M. Lamminen, C.Mapato, T. Ampapon, M.Wanapat, A. Vanthatalo (2018). Alternative and novel feeds for ruminants: nutritive value, product quality and environmental aspects. Review article, 295-309.
- Thanh- SangVoDai- HungNgoSe- KwonKim (2015). Nutritional and pharmaceutical properties of microalgal Spirulina. *Handbook of Marine Microalgae*, 299-308.
- A. Djaghoubi- M. Daddi Bouhoun- S. Hadj Said- A. Saggai- S. Sobti- B. Hamdi Aissa (2015). Growth and nitrogen removal efficiency as protein content of Spirulian from tertiary municipal wastewater in Ouargla. *Energy Procedia*, volume 74, 1402-1409.
- S. Patel- A. Goyal (2013). Current and prospective insights on food and pharmaceutical applications of Spirulina. *Current Trends in Biotechnology and pharmacy*, 681-695.
- L. Cepoi- I. Zinicovscaia- L. Rudi- T. Chiriac- V. Miscu- S. Djur- L. Strelkova- K. Vergel- P. Nekhoroshkov (2020). Growth and heavy metals accumulation by Spirulian platensis biomass from multicomponent copper containing synthetic effluents during repeated cultivation cycles. *Ecological Engineering*, volume 142, 105637.
- R. Ganesh- G. Kumar- R. Banu- A. Xia- S. Periyasamy- G. Dattatraya (2015). A critical review on anaerobic digestion of microalgae and macroalgae and co-digestion of biomass for enhanced methane generation. *Bioresource technology*, 319-332.
- J. Carillo- R. Barragàn- T. Buitròn (2016). Biological pretreatments of microalgal biomass for gaseous biofuel production and the potential use of rumen microorganisms. *Algal research*, 341-351.
- J. Kulpys- E. Paulauskas- V. Pilipavičius- R. Stankevičius (2009). Influence of cyanobacteria *Arthrospira* (Spirulina) platensis biomass additives towards the body condition of lactation cows and biochemical milk indexes. *Algal research*, 823-835.

- E. Manzocchi- B. Guggenbuhl- M. Kreuzer- K. Giller (2020). Effects of the substitution of soybean meal by spirulina in a hay-based diet for dairy cows on milk composition and sensory perception. *Journal of Dairy science*, 11349-11362.
- Otto- Malau-Aduli (2017). *Spirulina platensis* (Arthrospira spp.): A Potential Novel Feed Source For Pasture-Based Dairy Cows. *Journal of fisheries e Livestock Production*.
- M. Crovetto- A. Sandrucci. *Allevamento animale e riflessi ambientali*. Edito a cura della fondazione iniziative zooprofilattiche e zootecniche.
- www.vetjournal.it
- www.fao.org
- www.mangimicelimenti.it
- www.gergofili.info
- <https://materialeconsulenti.s3-eu-west-1.amazonaws.com/Prodotti/Alga+Spirulina/Informativa+descrittiva+dell'Alga+Spirulina.pdf>
- <https://www.severinobecagli.it/coltivazione-produzione-spirulina/>
- <https://www.bertolinifarm.it/produzione-e-fasi-di-lavorazione-dellalga-spirulina/>
- <https://www.macchinealimentari.it/2020/03/23/composti-bioattivi-di-origine-microalgale-valutazione-microbiologica-e-chimica-della-coltivazione-di-spirulina-in-un-impianto-pilota/>
- <https://www.omicsonline.org/bioaccumulation-of-cadmium-in-blue-green-algae-spirulina-arthrospira-indica-2155-6199.1000141.php?aid=5068>
- <https://www.issalute.it/index.php/la-salute-dalla-a-alla-z-menu/c/cadmio#:~:text=Il%20cadmio%20viene%20rilasciato%20nel,fertilizzanti%20artificiali%20a%20base%20di>
- <https://www.publish.csiro.au/AN/AN14326>